

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

**Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.**

**Defects in the images may include (but are not limited to):**

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-151229  
(P2000-151229A)

(43)公開日 平成12年5月30日(2000.5.30)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
H 0 1 P 11/00		H 0 1 P 11/00	J 5 J 0 0 6
1/20		1/20	K
7/10		7/10	A

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平10-317322

(22)出願日 平成10年11月9日(1998.11.9)

(71)出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72)発明者 安藤 正道

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式  
会社村田製作所内

(72)発明者 久保田 和彦

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式  
会社村田製作所内

(74)代理人 100084548

弁理士 小森 久夫

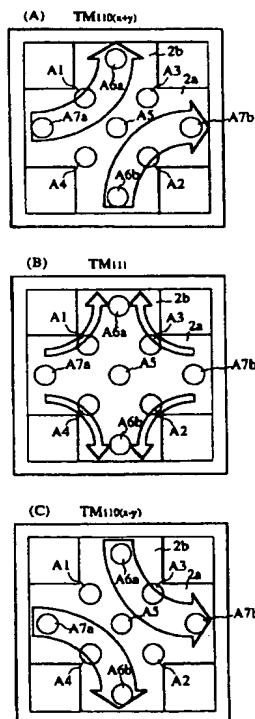
Fターム(参考) 5J006 HC03 HC13 HC14 HC22 JA01  
LA11 MA05 MA13 NA02 ND00  
NE15 PA10

(54)【発明の名称】 誘電体フィルタの自動特性調整方法および装置

(57)【要約】

【課題】 誘電体フィルタの特性を短時間で且つ確実に自動調整する方法と装置を提供する。

【解決手段】 誘電体フィルタの特性パラメータを測定し、その特性パラメータからフィルタの設計等価回路上の電気パラメータを求め、誘電体フィルタの特性調整用箇所を調整するとともに、その調整により変化した電気パラメータと調整量とから調整量に対する電気パラメータの変化量を示す調整関数を求め、その調整関数による連立方程式に基づいて、現在の電気パラメータと目標とする電気パラメータとの差から調整量を求めて、たとえばその50%の調整を行う。これらの処理を繰り返すことによって、フィルタの特性パラメータを順次目標値に近づける。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 特性調整対象である誘電体フィルタの特性パラメータを測定し、該特性パラメータからフィルタの設計等価回路の電気パラメータを求める電気パラメータ抽出ステップと、

前記誘電体フィルタの電気パラメータ調整用箇所を調整するとともに、前記電気パラメータ抽出手段により求められた電気パラメータと、前記調整量とから、調整量に対する電気パラメータの変化量を示す調整関数を生成する調整関数生成ステップと、

前記調整関数による連立方程式に基づき、調整前の電気パラメータと、目標とする電気パラメータとから前記調整量を求める調整量算出ステップと、

前記調整量算出ステップにより算出された量の調整を行う調整ステップとを含み、

前記誘電体フィルタの特性パラメータが所定値になるまで、前記電気パラメータ抽出ステップと前記調整量算出ステップおよび前記調整ステップを繰り返す誘電体フィルタの自動特性調整方法。

【請求項2】 前記調整量算出ステップは、前記調整関数による連立方程式に前記電気パラメータ抽出ステップにより求められた電気パラメータと目標とする電気パラメータとを代入して求めた解に対して一定の割合を乗じて調整量を求める請求項1に記載の誘電体フィルタの自動特性調整方法。

【請求項3】 前記調整前の電気パラメータは、1回目の調整においては、前記電気パラメータ抽出手段により求められた電気パラメータとし、2回目以降の調整においては、前回の調整後に前記電気パラメータ抽出ステップにより求められた電気パラメータと、既調整量とを前記調整関数による連立方程式に代入して逆算した電気パラメータとする、請求項1または2に記載の誘電体フィルタの自動特性調整方法。

【請求項4】 前記誘電体フィルタは多重モードの誘電体フィルタである請求項1、2または3に記載の誘電体フィルタの自動特性調整方法。

【請求項5】 特性調整対象である誘電体フィルタの特性パラメータを測定し、該特性パラメータからフィルタの設計等価回路の電気パラメータを求める電気パラメータ抽出手段と、

前記誘電体フィルタの電気パラメータ調整用箇所を調整するとともに、前記電気パラメータ抽出手段により求められた電気パラメータと、前記調整量とから、調整量に対する電気パラメータの変化量を示す調整関数を生成する調整関数生成手段と、

前記調整関数による連立方程式に基づき、調整前の電気パラメータと、目標とする電気パラメータとから前記調整量を求める調整量算出手段と、

前記調整量算出手段により算出された量の調整を行う調整手段と、

前記誘電体フィルタの特性パラメータが所定値になるまで、前記電気パラメータ抽出手段による処理と前記調整量算出手段による処理および前記調整手段による処理を繰り返す制御手段とから成る誘電体フィルタの自動特性調整装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、誘電体フィルタの特性を自動調整する方法および装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、所望の特性を有する誘電体フィルタを得るため、電極部分や誘電体部分を切削したり、調整用ネジを回転させて誘電体部材や金属部材を挿抜する、といった方法により特性調整が行われている。

【0003】 理想的には、誘電体フィルタを構成する材料の物性が常に一定であり、且つ各部の寸法精度が極めて高ければ、常にほぼ一定の特性が得られる。しかし、現実にはこれらにはばらつきがあるため、これらのばらつきを予め見込んで、例えば共振周波数を定める場合には、目標とする共振周波数より常にわずかに低くなるように設計しておき、共振周波数が目標共振周波数になるまで誘電体部分を切削して所定の特性を得る、といった方法が採られている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、或る特性調整用の調整箇所における誘電体や導電体の削除／付与または挿抜などによる摂動に対する、調整対象の特性変化は必ずしも線形ではない。そのため、従来は作業者の経験と勘によって特性調整が行われていたが、量産性が低く、常に安定した製造が行えないという問題があった。

【0005】 そこで、このような電子部品の特性調整を自動化するものとして特許第2740925号が示されている。これは特性調整箇所の調整量に対する特性の変化の関係を予め求めておき、その関係に基づいて所定の特性を得るための調整量を単純に求めるようにした場合に、製品個々の調整量に対する特性変化のカーブが異なることに起因する調整不良の問題を解消するために、所定試料数のトリミングによって実績データを求めて、所定試料数の電子部品に対するトリミング条件を順次更新することによって、電子部品のロットのばらつきや製造工程のばらつきに対応するようにしたものである。

【0006】 ところで、たとえば複数の誘電体共振器と入出力結合手段を設けて構成した誘電体フィルタにおいては、小型軽量化のために、多重モードの誘電体共振器が用いられる。例えば十字形状の誘電体柱を用いて2重モードまたは3重モードの共振モードを利用する場合、各共振器の共振周波数を調整するために上記誘電体柱の所定箇所を切削することになる。しかし、複数の共振モードのうち調整対象とする1つの共振器の共振周波数を

他の共振器から完全に独立して調整することはできない。例えば誘電体柱の或る箇所を切削すれば、幾つかの共振モードの共振周波数が同時に変化してしまう。ただどの共振モードに対して最も影響を与えるかといった割合に差があるだけである。従って、例えば3重モードの共振器を複数個用いた誘電体フィルタの特性を調整するような場合は、作業者がネットワークアナライザ等を用いて特性を測定しながら調整を行うといった方法では実質上不可能であった。

【0007】この発明の目的は誘電体フィルタの特性を短時間で且つ確実に自動調整する方法と装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明は、特性調整対象である誘電体フィルタの特性パラメータを測定し、該特性パラメータからフィルタの設計等価回路の電気パラメータを求める電気パラメータ抽出ステップと、前記誘電体フィルタの電気パラメータ調整用箇所を調整するとともに、前記電気パラメータ抽出手段により求められた電気パラメータと、前記調整量とから、調整量に対する電気パラメータの変化量を示す調整関数を生成する調整関数生成ステップと、前記調整関数による連立方程式に基づき、前記電気パラメータ抽出ステップにより求められた電気パラメータと、目標とする電気パラメータとから前記調整量を求める調整量算出ステップと、前記調整量算出ステップにより算出された量の調整を行う調整ステップとを含み、前記誘電体フィルタの特性パラメータが所定値になるまで、前記電気パラメータ抽出ステップと前記調整量算出ステップおよび前記調整ステップを繰り返す。

【0009】前記調整量算出ステップは、前記調整関数による連立方程式に前記電気パラメータ抽出ステップにより求められた電気パラメータと目標とする電気パラメータとを代入して求めた解に対して一定の割合を乗じて調整量を求める。

【0010】このように調整関数による連立方程式に基づき、誘電体フィルタの特性パラメータ（Sパラメータ）を測定して、その特性パラメータから求めたフィルタの設計等価回路の電気パラメータと、目標とする電気パラメータとの差から電気パラメータ調整用箇所の調整量を求め、誘電体フィルタの所望の特性パラメータが得られるまで、算出された調整量の補正を繰り返す行うことによって従来の経験や勘に頼らずに、誘電体フィルタの特性が確実且つ自動的に調整できる。

【0011】

【発明の実施の形態】この発明の実施形態に係る誘電体フィルタの自動特性調整方法および装置について図1～図6を参照して説明する。

【0012】図1は特性調整対象である誘電体フィルタの主要部の構成を示す斜視図である。図1において1は

誘電体キャビティであり、その内部に2つの誘電体柱2a、2bの交差形状からなる複合誘電体柱2を一体的に設け、誘電体柱2a、2bの両端面にあたるキャビティ1との連設部の中央部にはそれぞれキャビティ1の外壁から誘電体柱2a、2bの内部に向かって窪んだ穴4aを形成し、各穴4aの内面に導電体3aを形成している。この導電体3aはキャビティ1の外周面に形成した導電体3に連続している。

【0013】図2は上記多重モード誘電体共振器に対して外部結合ループおよび同軸コネクタを取り付けて、3段の共振器からなる帯域通過フィルタを構成した例であり、(A)はキャビティの開口部に導電体板を取り付ける前の平面図、(B)は正面方向から見た縦断面図である。キャビティ1の上下の2つの開口部を覆う導電体板10、11の外面には同軸コネクタ14、15を取り付けると共に、内面に結合ループ12、13を取り付けている。これらの結合ループ12、13は(A)に示すように、複合誘電体10の各誘電体柱に対して45度の関係に配置している。結合ループ12は後述する第1の共振モードである $TM_{110(x,y)}$ モードと磁界結合し、結合ループ13は後述する第2の共振モードである $TM_{110(x,y)}$ モードと磁界結合する。後述するように、この第1と第3の共振モード以外に第2の共振モードである $TM_{111}$ モードを生じさせて、第1・第2・第3の共振モードを順次結合させることによって、3段の共振器からなる帯域通過フィルタ特性を有する誘電体フィルタを構成する。

【0014】図3は3重モードの誘電体共振器の各モードの共振器を結合させて3段の共振器からなる所定のフィルタ特性を有する誘電体フィルタを構成するための、電気パラメータ調整用箇所を示している。また図4は第1・第2・第3の共振モードの電界分布の概略をそれぞれ示している。図4の(A)は第1の共振モードである $TM_{110(x,y)}$ モードについて、(B)は第2の共振モードである $TM_{111}$ モードについて、(C)は第3の共振モードである $TM_{110(x,y)}$ モードについて、それぞれ示している。

【0015】このような3重モードの共振器を用いる場合、電気パラメータは、第1・第2・第3の共振モードの共振周波数 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、第1と第2の共振モード間の結合係数 $k_{12}$ 、第2と第3の共振モード間の結合係数 $k_{23}$ 、第1と第3の共振モード間の結合係数 $k_{13}$ である。この6つの電気パラメータを調整するためには、理想的には図3に示した9カ所またはそれ以上の切削箇所を定める必要があるが、実用上は7カ所以上あれば調整できる。例えばA1で示す箇所を切削すれば、主に $f_1$ 、 $f_2$ が上昇するとともに $k_{12}$ が増大する（生じる）。この調整箇所A1の切削によって $k_{12}$ が生じている状態（第1と第2の共振モードが結合している状態）で調整箇所A2を切削すれば、 $f_1$ 、 $f_2$ が上

昇するとともに  $k_{12}$  が減少する。調整箇所 A 3 を切削すれば主に  $f_2$ ,  $f_3$  が上昇するとともに  $k_{23}$  が増大する（生じる）。この調整箇所を A 3 の切削によって  $k_{23}$  が生じている状態（第 2 と第 3 の共振モードが結合している状態）で、調整箇所 A 4 を切削すれば  $f_2$ ,  $f_3$  が上昇するとともに  $k_{23}$  が減少する。調整箇所 A 5 を切削すれば主に  $f_1$ ,  $f_3$  が上昇する。また調整箇所 A 6 a または A 6 b を切削すれば主に  $f_1$ ,  $f_3$  が上昇するとともに  $k_{13}$  が増大する（生じる）。この  $k_{13}$  が生じている状態で調整箇所 A 7 a または A 7 b を切削すれば  $f_1$ ,  $f_3$  が上昇するとともに  $k_{13}$  が減少する。

【0016】この発明の誘電体フィルタの自動特性調整方法では、まず誘電体フィルタの特性を測定し、フィルタを構成する電気パラメータを共振器単位の電気パラメータに分解し、各調整箇所の切削量と電気パラメータの変化量を例えば最小二乗法により関数化する。この関数は 2 次関数、3 次関数、指数関数などで近似する。図 3 に示した 9 つの調整箇所のうち、A 6 a, A 6 b の何れか一方、A 7 a, A 7 b の何れか一方をそれぞれ切削することとして、合計 7 カ所の調整箇所の切削量を  $Z_n$  ( $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ) とすると、以下のような関係式が成り立つ。

【0017】〔式 1〕調整箇所 A 1 について、

$$f_1 = f_{1ini}(1 + \phi_{11}(Z_1))$$

$$f_2 = f_{2ini}(1 + \phi_{12}(Z_1))$$

$$f_3 = f_{3ini}(1 + \phi_{13}(Z_1))$$

$$k_{12} = k_{12ini} + \phi_{14}(Z_1)$$

$$k_{23} = k_{23ini} + \phi_{15}(Z_1)$$

$$k_{13} = k_{13ini} + \phi_{16}(Z_1)$$

調整箇所 A 2 について、

$$f_1 = f_{1ini}(1 + \phi_{21}(Z_2))$$

$$f_2 = f_{2ini}(1 + \phi_{22}(Z_2))$$

$$f_3 = f_{3ini}(1 + \phi_{23}(Z_2))$$

$$k_{12} = k_{12ini} + \phi_{24}(Z_2)$$

$$k_{23} = k_{23ini} + \phi_{25}(Z_2)$$

$$k_{13} = k_{13ini} + \phi_{26}(Z_2)$$

調整箇所 A 3 について、

$$f_1 = f_{1ini}(1 + \phi_{31}(Z_3))$$

$$f_2 = f_{2ini}(1 + \phi_{32}(Z_3))$$

$$f_3 = f_{3ini}(1 + \phi_{33}(Z_3))$$

$$k_{12} = k_{12ini} + \phi_{34}(Z_3)$$

$$k_{23} = k_{23ini} + \phi_{35}(Z_3)$$

$$k_{13} = k_{13ini} + \phi_{36}(Z_3)$$

(中略)

調整箇所 A 7 について、

$$f_1 = f_{1ini}(1 + \phi_{71}(Z_7))$$

$$f_2 = f_{2ini}(1 + \phi_{72}(Z_7))$$

$$f_3 = f_{3ini}(1 + \phi_{73}(Z_7))$$

$$k_{12} = k_{12ini} + \phi_{74}(Z_7)$$

$$k_{23} = k_{23ini} + \phi_{75}(Z_7)$$

$$k_{13} = k_{13ini} + \phi_{76}(Z_7)$$

ここで  $f_{1ini}$ ,  $f_{2ini}$ ,  $f_{3ini}$ ,  $k_{12ini}$ ,  $k_{23ini}$ ,  $k_{13ini}$  はそれぞれのパラメータの初期値である。また  $\phi_{nm}$  ( $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ,  $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ) は切削量に対するパラメータの変化量の関数（以降「調整関数」という。）であり、それぞれ原点を通る 2 次関数、3 次関数、指数関数などである。

【0018】上記調整関数  $\phi_{11}$ ,  $\phi_{12}$ ,  $\phi_{13}$ , ...,  $\phi_{21}$ ,  $\phi_{22}$ ,  $\phi_{23}$ , ...,  $\phi_{74}$ ,  $\phi_{75}$ ,  $\phi_{76}$  は、誘電体フィルタの調整箇所を実際に切削するとともに、その切削量に対するパラメータの変化量として予め求めておく。その手順をフローチャートとして図 6 に示す。まず、各部の切削量  $Z_1 \sim Z_7$  を初期化し、S パラメータを測定し、その S パラメータを実現するための電気パラメータ  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $k_{12}$ ,  $k_{23}$ ,  $k_{13}$  を設計等価回路に対するフィッティング計算により求める。続いて、調整箇所の序数である  $m$  に初期値 1 を入れて、 $Z_1$  を予め定めた 1 ステップ当たりの切削量に設定する。ここで 1 ステップ当たりの切削量は、その切削箇所に対して定められている最大の許容切削量を、設定した最大ステップ数で割った値であり、例えば最大切削量が 5 mm と決められていて、最大ステップを 10 ステップと設定した場合、1 ステップ当たりの切削量は 0.5 mm となる。まずサンプルの調整箇所 A 1 を 1 ステップ当たりの切削量だけ切削したときの電気パラメータ  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $k_{12}$ ,  $k_{23}$ ,  $k_{13}$  の変化量（変化係数）をそれぞれ求める。次に調整箇所 A 2 を 1 ステップ当たりの切削量だけ切削して、上記 6 つの電気パラメータの変化量を求める。次に調整箇所 A 3 を 1 ステップ当たりの切削量だけ切削して上記 6 つのパラメータをそれぞれ求める。以降同様に 7 つの調整箇所について 1 ステップ当たりの切削量だけ切削したときの各電気パラメータの変化量を求める。その後、再び調整箇所 A 1 について 1 ステップ当たりの切削量（0.5 mm）だけさらに切削し（これにより A 1 は初期状態から 1.0 mm だけ切削された状態となる。）、その時の上記 6 つの電気パラメータの変化量を求める。次に A 2 について 1 ステップ当たりの切削量だけさらに切削して上記 6 つの電気パラメータの変化量を求める。以降同様に 7 つの調整箇所について 1 ステップ当たりの切削量だけ切削するとともにその切削に伴う電気パラメータの変化を求める。各調整箇所における切削量が予め定めた最大値に達するまで、上記の処理を順次繰り返して、各調整箇所における切削量に対する各電気パラメータの変化を求める。最後に、各調整箇所毎に、切削量に対する各電気パラメータの変化曲線を最小二乗法などにより近似曲線として求める。これらの曲線が上記  $\phi_{11}$ ,  $\phi_{12}$ ,  $\phi_{13}$ , ...,  $\phi_{21}$ ,  $\phi_{22}$ ,  $\phi_{23}$ , ...,  $\phi_{74}$ ,  $\phi_{75}$ ,  $\phi_{76}$  に相当する。

【0019】図 5 は調整箇所 A 1 について、最大許容切

削量 7 mm を 7 ステップに分けて切削した場合の各電気パラメータの変化を求めた結果である。図 5 において横軸は切削量 (mm)、縦軸は各電気パラメータの変化率である。F01, F02, F03 は上記  $f_1, f_2, f_3$  の変化を変化率で表している。また  $k_{12}, k_{23}, k_{13}$  は絶対値で表している。この図に示した例では、各調整関数は次の 2 次関数で表される。

#### 【0020】

$$\begin{aligned}\phi_{11}(Z_1) &= (1.6721 \times 10^{-3})Z_1^2 + (4.0662 \times 10^{-3})Z_1 \\ \phi_{12}(Z_1) &= (1.5943 \times 10^{-3})Z_1^2 + (1.6339 \times 10^{-3})Z_1 \\ \phi_{13}(Z_1) &= (5.0085 \times 10^{-3})Z_1^2 - (1.3070 \times 10^{-3})Z_1 \\ \phi_{14}(Z_1) &= (3.2535 \times 10^{-3})Z_1^2 + (5.0863 \times 10^{-3})Z_1 \\ \phi_{15}(Z_1) &= (-1.2683 \times 10^{-3})Z_1^2 - (2.6757 \times 10^{-3})Z_1\end{aligned}$$

$\phi_{16}(Z_1) = (1.4478 \times 10^{-3})Z_1^2 + (3.0814 \times 10^{-3})Z_1$   
因みにこの例では、調整箇所 A1 を切削することによって  $f_1, f_2$  が  $f_3$  より大きな割合で上昇している。また、 $k_{12}$  が  $k_{23}, k_{13}$  より大きく変化している。

【0021】上記〔式 1〕によれば切削前の電気パラメータ  $f_{1ini}, f_{2ini}, f_{3ini}, k_{12ini}, k_{23ini}, k_{13ini}$  は測定から算出できるので、所望の電気パラメータ  $f_1, f_2, f_3, k_{12}, k_{23}, k_{13}$  を与えれば、それらのパラメータを満足するための切削量  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7$  を算出することができる。しかしながら、同じように製造され同じように組み立てられた誘電体フィルタであっても、各部の寸法公差や組み立て精度によって誘電体フィルタの特性は少しずつ異なる。従って、計算により求めた切削量どおりの切削を行っても、電気パラメータは上記関数どおりには変化しない。従って前記関数を実物に合わせて補正する必要が生じる。そこで、計算により求めた必要な切削量の例えば 50% の切削を行い、特性調整を何段階かに分けて、その都度パラメータの初期値を補正することによって、切削量に対する電気パラメータの変化が予め定めた関数どおりに対応するようにする。具体的には以下のようにして特性調整を行う。

【0022】まず全く切削を施さない状態での誘電体フィルタの電気パラメータを初期値  $f_{1ini}, f_{2ini}, f_{3ini}, k_{12ini}, k_{23ini}, k_{13ini}$  とする。また所望のフィルタ特性を得るための共振器単位の電気パラメータの目標値を  $f_{ltrg}, f_{2trg}, f_{3trg}, k_{12trg}, k_{23trg}, k_{13trg}$  とする。

【0023】最初の切削においては、初期値に対する補正量が不明であるので、そのまま次の連立方程式を解き、切削量  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7$  を求める。

#### 【0024】〔式 2〕

$$\begin{aligned}f_{ltrg} &= f_{1ini}(1 + \phi_{11}(Z_1) + \phi_{21}(Z_2) + \phi_{31}(Z_3) + \phi_{41}(Z_4) + \phi_{51}(Z_5) + \phi_{61}(Z_6) + \phi_{71}(Z_7)) \\ f_{2trg} &= f_{2ini}(1 + \phi_{12}(Z_1) + \phi_{22}(Z_2) + \phi_{32}(Z_3) + \phi_{42}(Z_4) + \phi_{52}(Z_5) + \phi_{62}(Z_6) + \phi_{72}(Z_7)) \\ f_{3trg} &= f_{3ini}(1 + \phi_{13}(Z_1) + \phi_{23}(Z_2) + \phi_{33}(Z_3) + \phi_{43}(Z_4) + \phi_{53}(Z_5) + \phi_{63}(Z_6) + \phi_{73}(Z_7))\end{aligned}$$

$$k_{12trg} = k_{12ini} + \phi_{14}(Z_1) + \phi_{24}(Z_2) + \phi_{34}(Z_3) + \phi_{44}(Z_4) + \phi_{54}(Z_5) + \phi_{64}(Z_6) + \phi_{74}(Z_7)$$

$$k_{23trg} = k_{23ini} + \phi_{15}(Z_1) + \phi_{25}(Z_2) + \phi_{35}(Z_3) + \phi_{45}(Z_4) + \phi_{55}(Z_5) + \phi_{65}(Z_6) + \phi_{75}(Z_7)$$

$$k_{13trg} = k_{13ini} + \phi_{16}(Z_1) + \phi_{26}(Z_2) + \phi_{36}(Z_3) + \phi_{46}(Z_4) + \phi_{56}(Z_5) + \phi_{66}(Z_6) + \phi_{76}(Z_7)$$

なお、未知数が 7 つで式が 6 つであるので、7 つの未知数は一義的には得られないが、切削可能な量は無限ではなく、例えば  $Z_1 \sim Z_7$  はすべて 0 mm 以上 6.0 mm 以下等のように、それぞれ制限範囲が存在するので、これらの条件とともに  $Z_1 \sim Z_7$  を求める。そして実際の切削量  $Z_1' \sim Z_7'$  を

$$Z_1' = Z_1 \times 0.5$$

$$Z_2' = Z_2 \times 0.5$$

$$Z_3' = Z_3 \times 0.5$$

$$Z_4' = Z_4 \times 0.5$$

$$Z_5' = Z_5 \times 0.5$$

$$Z_6' = Z_6 \times 0.5$$

$$Z_7' = Z_7 \times 0.5 \text{ として求める。}$$

【0025】この 0.5 の係数を切削量緩和率と呼び、切削量緩和率を大きくすればするほど（1 に近づけるほど）調整の進行度が速くなるが、電気パラメータの目標値に対する追い込み精度は低下する。逆に切削量緩和率を小さくすれば調整の進行度が遅くなるが、電気パラメータの目標値への追い込み精度は向上する。

【0026】2 回目以降の切削においては、前回（第  $n-1$  回目）の切削終了後、誘電体フィルタの特性パラメータ（S パラメータ）から求めた電気パラメータを  $f_{lnew}, f_{2new}, f_{3new}, k_{12new}, k_{23new}, k_{13new}$  とし、また、実際に切削を施した量を  $Z_1', Z_2', Z_3', Z_4', Z_5', Z_6', Z_7'$  とし、これらを基に次の式で  $f_{lrev}, f_{2rev}, f_{3rev}, k_{12rev}, k_{23rev}, k_{13rev}$  をそれぞれ求める。

#### 【0027】〔式 3〕

$$f_{lrev} = f_{lnew} / (1 + \phi_{11}(Z_1') + \phi_{21}(Z_2') + \phi_{31}(Z_3') + \phi_{41}(Z_4') + \phi_{51}(Z_5') + \phi_{61}(Z_6') + \phi_{71}(Z_7'))$$

$$f_{2rev} = f_{2new} / (1 + \phi_{12}(Z_1') + \phi_{22}(Z_2') + \phi_{32}(Z_3') + \phi_{42}(Z_4') + \phi_{52}(Z_5') + \phi_{62}(Z_6') + \phi_{72}(Z_7'))$$

$$f_{lrev} = f_{3new} / (1 + \phi_{13}(Z_1') + \phi_{23}(Z_2') + \phi_{33}(Z_3') + \phi_{43}(Z_4') + \phi_{53}(Z_5') + \phi_{63}(Z_6') + \phi_{73}(Z_7'))$$

$$k_{12rev} = k_{12new} - (\phi_{14}(Z_1') + \phi_{24}(Z_2') + \phi_{34}(Z_3') + \phi_{44}(Z_4') + \phi_{54}(Z_5') + \phi_{64}(Z_6') + \phi_{74}(Z_7'))$$

$$k_{23rev} = k_{23new} - (\phi_{15}(Z_1') + \phi_{25}(Z_2') + \phi_{35}(Z_3') + \phi_{45}(Z_4') + \phi_{55}(Z_5') + \phi_{65}(Z_6') + \phi_{75}(Z_7'))$$

$$k_{13rev} = k_{13new} - (\phi_{16}(Z_1') + \phi_{26}(Z_2') + \phi_{36}(Z_3') + \phi_{46}(Z_4') + \phi_{56}(Z_5') + \phi_{66}(Z_6') + \phi_{76}(Z_7'))$$

上記〔式 3〕は〔式 2〕の逆計算であり、現在の電気パラメータと調整関数との関係を整合させるために要する初期値を求めていることになる。すなわち上記の式において、

$$f_{1ini} = f_{lrev}$$

f2ini = f2rev  
f3ini = f3rev  
k12ini = k12rev  
k23ini = k23rev  
k13ini = k13rev

として初期値を補正する。そして〔式 2〕の連立方程式を解き、新たな切削量 Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7 を求める。ただしこれらの切削量は絶対値であり、各調整箇所について既に Z1' ~ Z7' の切削を行っているので、また切削量緩和率を 0.5 にしているため、この時点における実 10 際の切削量は調整箇所 A1 ~ A7 に対して

$(Z1 - Z1') \times 0.5$

$(Z2 - Z2') \times 0.5$

$(Z3 - Z3') \times 0.5$

$(Z4 - Z4') \times 0.5$

$(Z5 - Z5') \times 0.5$

$(Z6 - Z6') \times 0.5$

$(Z7 - Z7') \times 0.5$  だけそれぞれ切削する。

【0028】ここで一例を示す。f1 に注目して、たとえば fltag=890[MHz]、flini=880[MHz] であり、〔式 2〕 20 を解いた結果、Z1=10[mm] になった場合、切削緩和率を 0.5 とすると、 $10 \times 0.5 = 5$  [mm] であるので、実際には 5 [mm] 切削する。その後、再び測定して f1=886[MHz] になっていたとすると、〔式 3〕において flnew に 886[MHz] を代入し、Z1' ~ Z7' に実際に切削した量 (Z1'=5[m] など) を代入して、flrev, f2rev, f3rev, k12rev, k23rev, k13rev を求める。ここで、flrev=879.5[MHz] となったとすると、これを〔式 2〕における flini に代入する。そして fltag=890[MHz] を〔式 2〕に代入して Z1 ~ Z7 を求める。Z1=11[mm] となったとすると、1 回目 30 で 5 [mm] 切削しているため、 $11 - 5 = 6$ 、 $6 \times 0.5 = 3$  [mm] から、3 [mm] を 2 回目に切削する。以降同様に行う。

【0029】次に特性調整方法の全体の流れをフローチャートとして図 7 に示す。まず特性調整対象である誘電体フィルタの S パラメータ (S11, S12, S21, S22) をネットワークアナライザにより測定する。この値が目標範囲内に入っていない場合は (まだ切削していない状態では通常必ず目標範囲内に入っていない)、上記 S パラメータに対応する電気パラメータ (上記 S パラメータを示す特性を実現するための電気パラメータ) 40 をフィルタの設計等価回路に対するフィッティング計算により求める。初回の切削であれば、ここで求めた現在の電気パラメータ f1, f2, f3, k12, k23, k13 を〔式 2〕に示した連立方程式の初期値 f1ini, f2ini, f3ini, k12ini, k23ini, k13ini とする。〔式 2〕の目標パラメータ fltrg, f2trg, f3trg, k12trg, k23trg, k13trg は目標とする S パラメータを実現するための電気パラメータとして予めフィルタの設計等価回路に対するフィッティング計算により求めておく。また、調整関数  $\phi 11$ ,  $\phi 21$ ,  $\phi 31$ ,  $\phi 41$ ,

...  $\phi 76$  は、前述したように、サンプルの切削によ 50

って予め求めておく。これらの既知数を〔式 2〕に代入して切削量 Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7 を算出する。そしてその 50% を、実際の切削量 Z1', Z2', Z3', Z4', Z5', Z6', Z7' とし、その量だけロボットにより切削する。

【0030】その後、同様に S パラメータを測定し、その値が目標範囲内に入ったか否かを判定する。まだ目標範囲内に入らなければ、現在の S パラメータから電気パラメータを算出し、続いて、この求めた電気パラメータ f1, f2, f3, k12, k23, k13 を上記〔式 3〕における電気パラメータ flnew, f2new, f3new, k12new, k23new, k13new とし、また実際の切削量 Z1', Z2', Z3', Z4', Z5', Z6', Z7' を代入して〔式 3〕の連立方程式を解いて、電気パラメータ f1rev, f2rev, f3rev, k12rev, k23rev, k13rev を求める。更にこれらを flini, flini, flini, k12ini, k23ini, k13ini とすることによって初期値を補正する。その後、前記〔式 2〕の連立方程式から次の切削量 Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7 を求め、実際の切削量を、新たに切削すべき量の 50% として、ロボットによりその切削を行う。以降上記の処理を繰り返すことによって S パラメータを目標範囲内に順次近づけ、目標範囲内に入ったときに処理を終了する。

【0031】なお、S パラメータの目標値に対する差が所定値より小さくなったとき、または電気パラメータの目標値に対する差が所定値より小さくなったとき、上記切削量緩和率を 100% として一気に調整を仕上げるようにしてもよい。また、切削を重ねる程、上記切削量緩和率を大きくして、目標値への追い込み精度をあまり低下させることなく、調整に要する全体の時間を短縮化してもよい。

【0032】以上に示した実施形態では 3 重モードの誘電体共振器を 1 つだけ用いた 3 段の共振器から成る誘電体フィルタを例に挙げたが、シングルモードの誘電体共振器を用いて誘電体フィルタを構成する場合にも同様に適用できる。また複数の誘電体共振器を用いて 1 つの誘電体フィルタを構成する場合についても同様に適用できる。

【0033】次に、3 重モードの誘電体共振器を 2 つ用いて 6 段の共振器からなる帯域通過特性を有する誘電体フィルタを構成する場合の例について、図 8 ~ 図 11 を参照して説明する。

【0034】図 8 は誘電体フィルタの構造を示す図であり、(A) はキャビティの上部の開口部の導電体板のみを取り除いて示した平面図、(B) は正面方向から見た縦断面図である。キャビティ 1a, 1b の上下の 2 つの開口部には導電体板 10, 11 を覆い、導電体板 10 の外面には同軸コネクタ 14a, 14b を取り付けると共に、内面に結合ループ 12a, 12b を取り付けている。これらの結合ループ 12a, 12b は (A) に示すように、複合誘電体 10 の各誘電体柱に対して 45 度の 50 関係に配置している。結合ループ 12a は TM<sub>110(xy)</sub>

モードと磁界結合し、結合ループ 13a は  $TM_{110(x,y)}$  モードと磁界結合する。同様に、結合ループ 12b は  $TM_{110(x,y)}$  モードと磁界結合し、結合ループ 13b は  $TM_{110(x,y)}$  モードと磁界結合する。先に示した実施形態の場合と同様に、 $TM_{111}$  モードも生じさせて、3重の共振モードを順次結合させる。したがって、結合ループ 12a →  $TM_{110(x,y)}$  モード →  $TM_{111}$  モード →  $TM_{110(x,y)}$  モード → 結合ループ 13a, 13b →  $TM_{110(x,y)}$  モード →  $TM_{111}$  モード →  $TM_{110(x,y)}$  モード → 結合ループ 14b の順番に結合して 6 段の共振器からなる帯域通過フィルタ特性を有する誘電体フィルタを構成する。

【0035】上記フィルタの設計等価回路は図 9 のように表される。また、その各電気パラメータと共振器単位の電気パラメータの対応関係は図 10 のようになる。図 10 において設計パラメータは 6 段の共振器からなるフィルタの設計等価回路における電気パラメータである。これらの設計パラメータのうち  $K_{12}$ ,  $K_{23}$ ,  $K_{34}$ ,  $K_{45}$ ,  $K_{56}$  が主たる結合係数であり、 $K_{13}$ ,  $K_{46}$  は減衰極を生じさせるための有極化用とび結合の係数である。これらのパラメータのうち共振器単位の電気パラメータ  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $k_{12}$ ,  $k_{23}$ ,  $k_{13}$  が調整対象であり、設計パラメータのうち  $K_{01}$ ,  $K_{34}$ ,  $K_{67}$ ,  $K_{03}$ ,  $K_{47}$ ,  $K_{07}$ ,  $Q_1 \sim Q_6$  はこの例では固定であり、調整対象外である。なお、図 9 においては  $K_{03}$ ,  $K_{47}$ ,  $K_{07}$  については省略している。

【0036】前述した 3 重モードの誘電体共振器を 1 つだけ用いた誘電体フィルタの場合と同様に、何度か特性調整を繰り返せば、上記設計パラメータが目標値に近づき、これによって S パラメータが目標範囲内に収まる。その際の特性調整に伴う設計パラメータ  $F_1 \sim F_6$  の変化のイメージは図 11 に示すようになる。このように、切削前の初期特性では各共振器の共振周波数は通常ばらばらであるが、調整のステップを経る毎に順次所定値に収束していく。

【0037】なお、実施形態では誘電体柱を用いた TM モードの誘電体共振器による誘電体フィルタの特性調整を例にしたが、例えば誘電体ブロックや誘電体板に電極を形成した TEM モードの誘電体共振器によるフィルタの場合には、電極部分または誘電体部分を切削することによって、特性調整を行えばよい。また TE モードの誘電体共振器についても、誘電体部分を切削することによって特性調整を行えばよい。

【0038】また、特性調整は、基本的に共振系に対して何らかの摂動を与えることによって行うので、共振空間に対する誘電体または導電体の挿抜によって調整する\*

\* ようにしてもよい。更に結合ループなどの結合手段と共振器との結合調整を行う場合には、結合ループの向きや変形量の調整によってその調整を行うようにすればよい。これらの場合、特性調整用ロボットは誘電体または導電体の挿抜量を制御することにより特性調整を行うことになる。

#### 【0039】

【発明の効果】この発明によれば、調整関数による連立方程式に基づき、誘電体フィルタの特性パラメータ (S パラメータ) を測定して、その特性パラメータから求めたフィルタの設計等価回路の電気パラメータと、目標とする電気パラメータとから電気パラメータ調整用箇所調整量を求め、誘電体フィルタの特性パラメータが所定値になるまで、算出された調整量の補正を繰り返すだけで所望のフィルタ特性が得られるので、従来の経験や勘に頼らずに、誘電体フィルタの特性が確実且つ自動的に調整できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】誘電体共振器部分の斜視図

【図 2】誘電体共振器部分の上面図および誘電体フィルタの断面図

【図 3】電気パラメータ調整用箇所の例を示す図

【図 4】3 つの共振モードと特性調整用箇所との関係を示す図

【図 5】或る 1 つの電気パラメータ調整箇所における切削量に対する各電気パラメータの変化の例を示す図

【図 6】特性調整手順を示すフローチャート

【図 7】特性調整手順を示すフローチャート

【図 8】誘電体フィルタの上面図および断面図

【図 9】同誘電体フィルタの等価回路図

【図 10】設計等価回路上のフィルタを構成する電気パラメータと共振器単位の電気パラメータとの対応関係の例を示す図

【図 11】6 段の共振器からなる誘電体フィルタの共振周波数についての特性調整による目標値への収束のイメージを示す図

#### 【符号の説明】

1 - キャビティ

2 - 複合誘電体柱

2a, 2b - 誘電体柱

3, 3a - 導電体

4a - 穴

10, 11 - 導電体板

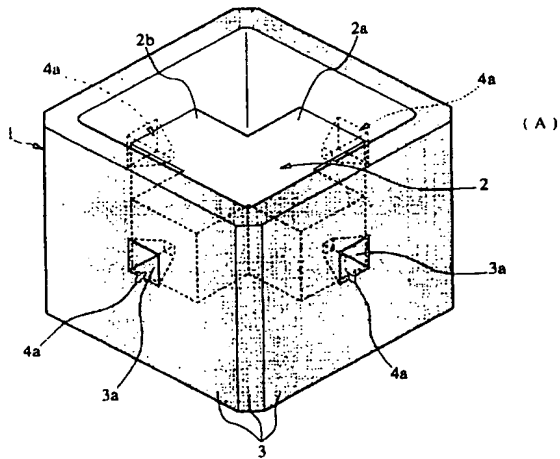
12, 13 - 結合ループ

14, 15 - 同軸コネクタ

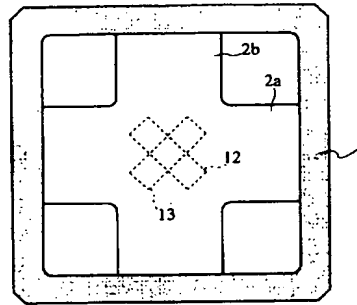
A1 ~ A7 - 電気パラメータ調整用箇所



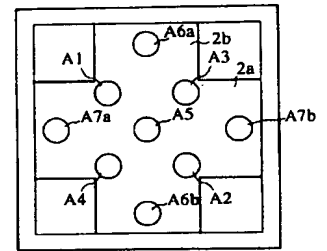
【図 1】



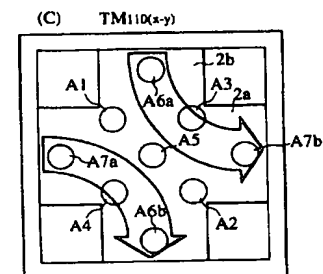
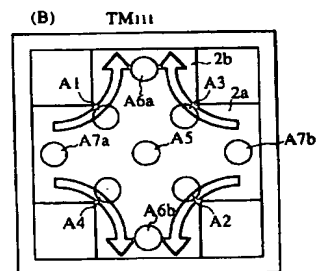
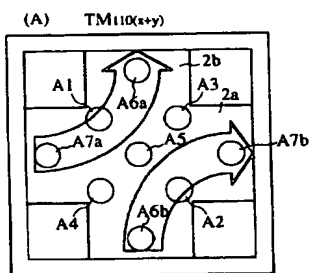
【図 2】



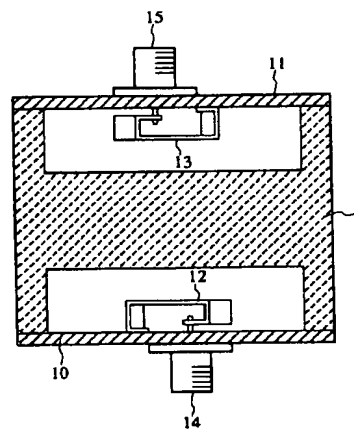
【図 3】



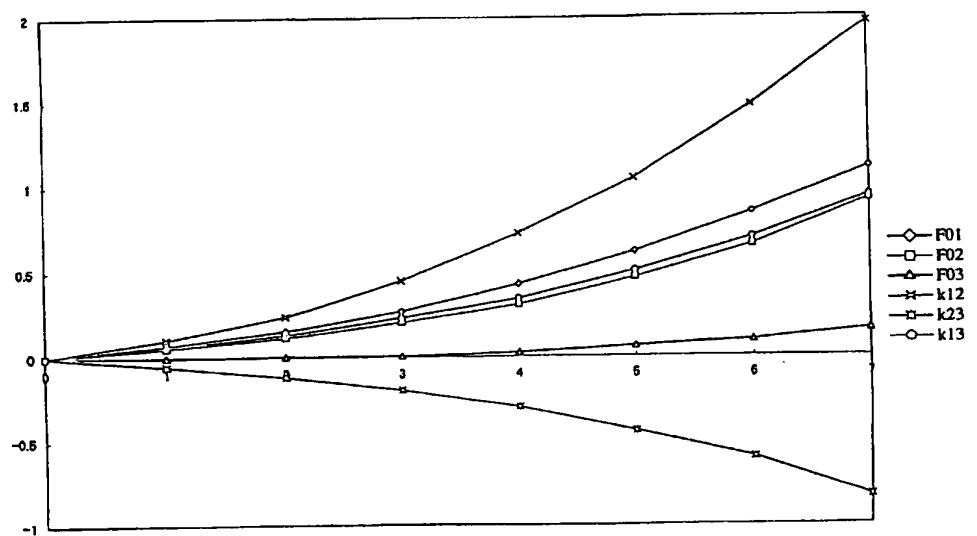
【図 4】



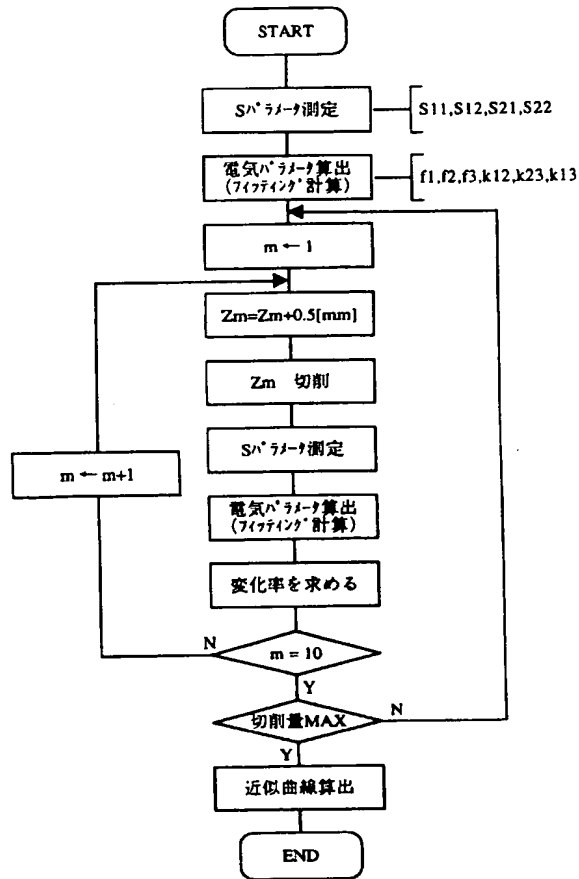
(B)



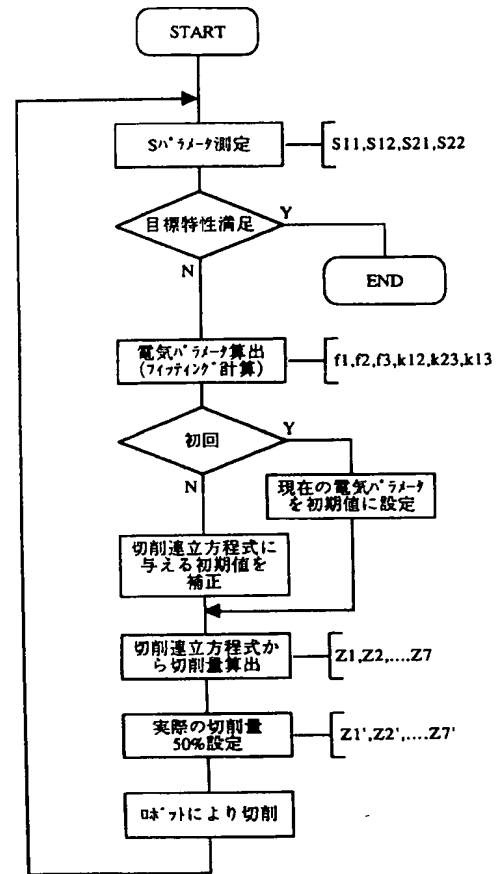
【図 5】



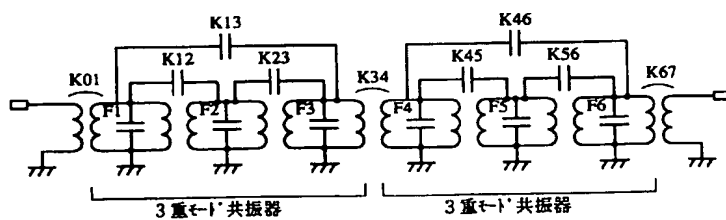
【図 6】



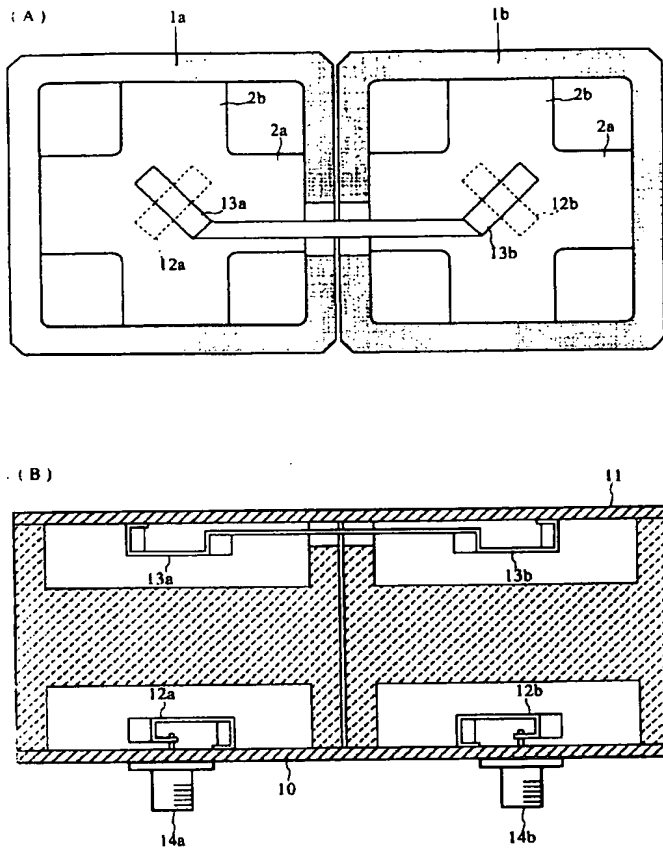
【図 7】



【図 9】



【図 8】



【図 10】

設計パラメータ	説明	共振器 1	共振器 2
F1	1段目の周波数	f1	—
F2	2段目の周波数	f2	—
F3	3段目の周波数	f3	—
F4	4段目の周波数	—	f1
F5	5段目の周波数	—	f2
F6	6段目の周波数	—	f3
K01	入力ループと1段目の結合係数	—	—
K12	1段目と2段目の結合係数	k12	—
K23	2段目と3段目の結合係数	k23	—
K34	3段目と4段目の結合係数 (結合ループによる結合係数)	—	—
K45	4段目と5段目の結合係数	—	k12
K56	5段目と6段目の結合係数	—	k23
K67	6段目と出力ループの結合係数	—	—
K03	入力ループと3段目の結合係数	—	—
K13	1段目と3段目の結合係数	k13	—
K46	4段目と6段目の結合係数	—	k13
K47	4段目と出力ループの結合係数	—	—
K07	入力ループと出力ループの結合係数	—	—
Q1	1段目のQ	f1のQ	—
Q2	2段目のQ	f2のQ	—
Q3	3段目のQ	f3のQ	—
Q4	4段目のQ	—	f1のQ
Q5	5段目のQ	—	f2のQ
Q6	6段目のQ	—	f3のQ

【図 11】

図8のイメージ（周波数の改善イメージ）

